원전 농축폐액 파라핀 고화체의 처분기준 충족을 위한 재처리 방안 고찰

임석남*, 김민수, 장동규, 정철영
액트알엠티㈜, 대전광역시 유성구 테크노 1로 11-3
*limsn53@hanmail.net

1. 농축폐액 파라핀 재처리 필요 배경

원전 중.저준위 방사성폐기물 저장시설의 저장용량 한계를 극복하기 위하여 액체폐기물처리계통에서 발생하는 농축폐액처리는 기존의 시멘트 고형화 방법 대신 농축폐액을 분말로 만들고 이를 파라핀으로 고형화 하는 방법으로 1990년대 중반에 개선하였으며, 최근 건설된 원전은 농축폐액 처리를 위하여 폴리머고화기술을 도입하였다.

중·저준위 방사성폐기물 처분을 대비하여 파라핀 고화체의 중·저준위 방사성폐기물 인도기준 만족여부를 평가한 결과 농축폐액 파라핀 고화체는 침출특성에서 인도기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이에 따라 파라핀 고화체는 경주 처분장에 처분하려면 인도기준을 충족하도록 재처리하여야 한다.

2. 농축폐액 파라핀 고화체 재처리 방법별 비교

2.1 농축폐액 파라핀 고형화 개요

원전 액체방사성폐기물은 폐액증발기에서 처리하며 이때 폐액증발기 저부에 농축폐액이 잔존물로서 남게 된다. 이 농축폐액은 농축폐액 건조장치에서 완전히 건조되어 분말로 만들어 지고 여기에 액상의 파라핀을 혼합하여 200 리터 철재 드럼에 포장 후 자연냉각하면 농축폐액 파라핀 고화체가 생성된다. 현재 전 원전에서 발생된 농축폐액 파라핀 고화체는 4,000 드럼 정도이다.

2.2 농축폐액 파라핀 고화체 특성

우리나라의 경우 농축폐액은 유동성이 있는 폐기물로 분류되어 반드시 고형화하여야 하고 고형화 조건을 만족하여야 한다.

농축폐액분말(붕산이 주 구성물)은 물에 대한 용해도가 매우 높으며 파라핀 고형화에 사용되는 파라핀의 물리화학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of Paraffin

구분	비 중		녹는점	인화점
내용	0.77(액상)	0.92(고상)	74 ℃	270 ℃

파라핀 고화체는 농축폐액 분말 75%, 파라핀 25%의 부피 비율로 혼합한 것이며 고화체의 부피는 농축폐액분말의 부피와 크게 다르지 않다.

파라핀 고화체는 고화체로서 장점이 있지만 농축폐액분말의 물리적화학적 특성과 혼합공정 특성 때문에 침출지수 제한치를 만족하지 못한다.

미국의 경우 농축폐액 파라핀 고화체는 폐기물 범주 A stable로 분류되며 이 경우 폐기물 범주 B와 같은 처분시설에 처분할 수 있는 이점이 있다. 또한 고건전성용기는 폐기물 고화체가 가지는 구조적 안전성과 동등 이상의 구조적 안전성을 가지는 용기로서 용기가 고형화 요건을 대신하기 때문에 폐기물 부피저감 또는 원자로 냉각계통에서 발생하는 폐필터 등과 같이 고형화가 곤란한 폐기물의 경우 이를 사용하여 처분하고 있다.

2.3 농축폐액 파라핀 고화체 재처리 방법별 특성

농축폐액 파라핀 고화체 재처리 방법은 고화체에서 농축폐액만을 분리하여 인도기준을 만족하도록 다시 고형화하는 방법과 고건전성용기에 직접 포장하는 방법으로 대별할 수 있다.

농축폐액 파라핀 고화체에서 파라핀만을 분리하는 방법은 물리화학적 분리방법과 고온진공증발 분리방법 등이 있다. 파라핀 고화체에서 분리된 농축폐액 고형화방법은 시멘트 등 무기질 고형화방법과 폴리머 등 유기질 고형화방법이 있다.

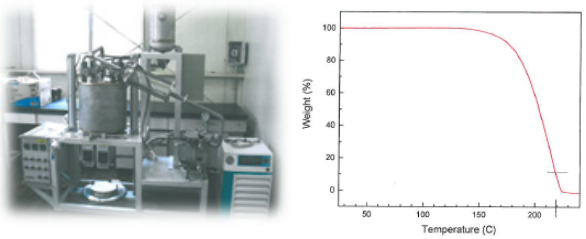

Fig. 1. Photograph of Experimental High Temperature Vacuum Evaporating Equipment(Left) & Recovering Rate(Light)

농축폐액 파라핀 고화체의 농축폐액 분리방법별 특성은 Table 2와 같이 비교된다.

Table 2. Comparison of Separation Methods

구 분	물리화학적 분리	고온진공증발 분리
분 리 율	○	○
2차폐기물 발생	×	○
설비 운영	△	△

폴리머 콘크리트를 주 재질로 국내에서 개발한 고건전성용기는 2014년 11월에 한울 2발전소의 인허가를 득하였으며 전 원전을 대상으로 인허가를 확대할 계획이다. 인허가를 득한 고건전성용기는 내부용적 860 리터로 경주 처분장 제2단계 처분시설에서 수용할 계획이며 개발 중인 내부용적 510 리터 용기는 제1단계 처분시설에 사용할 계획이다.

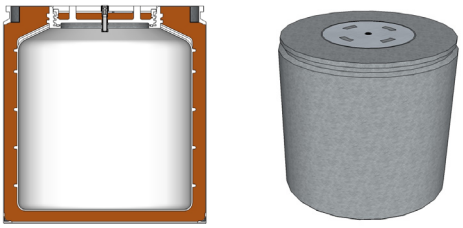

Fig. 2. A Cross-Sectional & External Views of Polymer Concrete HIC(860 L)

분리된 농축폐액 재고형화 방법과 농축폐액을 분리하지 않고 직접 고건전성용기에 재처리하는 방법별 특성은 Table3과 같이 비교된다.

Table 3. Characteristics of Treatment Methods

구 분	재 고형화	재포장(HIC)
인도기준 충족	○	○
폐기물 부피 저감	△	○
2차 폐기물 발생	×	○
설비 운영	×	○

3. 농축폐액 파라핀 고화체 최적 재처리 방안

원전에서 관리하고 있는 중.저준위 방사성폐기물은 발생자와 처분자간의 사전 협의된 계획에 따라 경주 처분장에 처분한다. 처분장 인도기준을 만족하지 못하는 농축폐액 파라핀 고화체는 처분일정을 수립하고 여러 가지 조건을 면밀히 고려하여 처분일정에 맞추어 처분기준을 만족하도록 재처리하여야 할 것이다.

지금까지 국내 관련기관의 농축폐액 파라핀 고화체 특성과 재처리관련 연구내용 그리고 중.저준위 방사성폐기물 처리기술과 원전 현장 여건을 종합적으로 검토한 결과 농축폐액 파라핀 고화체의 경우 농축폐액을 분리한 후에 고형화 하는 것 보다 직접 고건전성용기에 처리하는 것이 최적 방안으로 평가된다. 그 논거는 아래와 같다.

- ○ 최종 부피저감 관점에서 고건전성용기 포장방법이 농축폐액분리/재고형화방법 보다 효율적이다.
- ○ 2차 폐기물발생 관점에서 고건전성용기 포장 방법이 농축폐액분리/재고형화방법 보다 우수 하다.
- ○ 설비운영 관점에서 고건전성용기 포장방법이 농축폐액분리/재고형화방법 보다 안전하고 경제적이다.

4. 참고문헌

[1] Low-Level Waste Licensing Branch Technical Position on Radioactive Waste Classification (US NRC).

[2] 최영구, 김병태, 권기현, 김대환, "파라핀 안정화 드럼 처리를 위한 분리장치 개발", 한국방사성폐기물학회 2011 춘계학술발표회 논문 요약집.

[3] 곽경길, 유영걸. "붕산함유 파라핀 고화체의 직경/높이 및 재하속도에 따른 압축강도비교", 한국방사성폐기물학회 2003년 추계학술발표회 논문 요약집.

[4] 폴리머 콘크리트 고건전성용기 특정기술주제보고서[계림폴리콘㈜], 2014.

[5] Ju Youl Kim, Chang Hyun Chung, Chang Lak Kim, "Leaching behavior of boric acid and cobalt from paraffin waste forms", Journal of Nuclear Fuel Cycle and Waste Technology Vol.11 No. 4, 2013.

[6] 파라핀 고온진공증발시험보고서(중소기업 애로기술지원), 원자력연구원, 2015.